

Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek

TNO-rapport

rapport nr.
FEL-91-A368

exemplaar nr.



Fysisch en Elektronisch
Laboratorium TNO

Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage
Oude Waalsdorperweg 63
's-Gravenhage
Telefax 070 - 328 09 61
Telefoon 070 - 326 42 21

TD



4-3972

titel

8

Vooronderzoek Meetuitrusting Snelheid Projectiel

AD-A256 578



Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten TNO', dan wel de betreffende
terzake tussen partijen gesloten
overeenkomst.

© TNO

auteur(s):

J. van der Haven

N. de Jager

H.C.A. Romijn

datum:

juni 1992



TDCK RAPPORTENCENTRALE

Frederikkazerne, gebouw 140
v/d Burchlaan 31 MPC 16A
TEL. : 070-3166394/6395
FAX. : (31) 070-3166202
Postbus 90701
2509 LS Den Haag

rubricering

titel

samenvatting

rapporttekst

bijlage A

: ongerubriceerd

: ongerubriceerd

: ongerubriceerd

: ongerubriceerd

oplage

aantal bladzijden

aantal bijlagen

: 30

: 29 (incl. bijlage, excl. RDP & Distributielijst)

: 1

92-28365



rapport no. : FEL-91-A368
titel : Vooronderzoek Meetuitrusting Snelheid Projectiel

auteur(s) : J. van der Haven, N. de Jager, H.C.A. Romijn
instituut : Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

datum : juni 1992
hdo-opdr.no. : A87KL055
no. in iwp '91 : 713.4

Onderzoek uitgevoerd o.l.v. : Ir. A.W.M. van der Voort
Onderzoek uitgevoerd door : J. van der Haven, N. de Jager, H.C.A. Romijn

SAMENVATTING (ONGERUBRICEERD)

In het kader van de opdracht A87KL055 van de Koninklijke Landmacht Afdeling Beproevingen is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om een meetuitrusting samen te stellen voor het doen van snelheidsmetingen na het afvuren van projectielen van groot kaliber.

Uit dit onderzoek is een concept ontwerp ontstaan, hetwelk in dit rapport beschreven wordt.

report no. : FEL-91-A368
title : Feasibility study for a Measuring system Velocity Projectile

author(s) : J. van der Haven, N. de Jager, H.C.A. Romijn
institute : TNO Physics and Electronics Laboratory

date : June 1992
NDRO no. : A87KL055
no. in pow '91 : 713.4

Research supervised by: Ir. A.W.M. van der Voort

Research carried out by: J. van der Haven, N. de Jager, H.C.A. Romijn

ABSTRACT (UNCLASSIFIED)

Within the framework of Project no. A87KL055, the test department of the Royal Netherlands Army commissioned a feasibility study into a possible set-up for measuring the external ballistic speed of large-caliber projectiles.

This study led to a conceptual design that is described in this report.

SAMENVATTING		2
ABSTRACT		3
INHOUDSOPGAVE		4
INLEIDING		5
1	ALGEMEEN	6
1.1	Fig. 1 Opstelling Meetuitrusting Snelheid Projectiel (MUSP)	7
2	INLEIDING OP DE CORRELATIEMETHODE	8
2.1	Correlatiemethode m.b.v. FFT	9
2.1.1	Principe van correlatie m.b.v. FFT	9
2.1.2	Signaal/ruis-verhouding	10
2.1.3	Correlatie van de volledige tijdsignalen	10
2.1.4	Correlatie van twee deelsignalen	11
2.1.5	Vereenvoudigingen	12
3	SYSTEEMBESCHRIJVING VAN DE MUSP	13
3.1	Beschrijving van de startdetector	14
3.2	Beschrijving van de stopdetector	14
3.3	Specificaties van het systeem	15
3.4	Fig. 2 Blokschema van het systeem	15
3.5	Fig. 3 Blokschema van de startdetector	16
3.6	Fig. 4 Blokschema van de stopdetector	16
4	RESULTATEN BEPROEVINGEN	17
4.1	Resultaten schietproef 27 juni 1991 (t' Harde)	17
4.2	Resultaten schietproef 26 sept. 1991 (Petten)	20
5	CONCLUSIES	21
BIJLAGE A BESCHRIJVING VAN DE SOFTWARE		

INLEIDING

De opdracht "Vooronderzoek meetuitrusting snelheid projectiel" A87/KL/055 is van de plv. HWO-KL ontvangen en in een brief, brief nr. 87 H 1317 d.d. 7 mei 1987, van de HDO aan de directeur FEL medegedeeld.

Ten aanzien van de eisen, gesteld aan de uit te voeren opdracht, is uitgegaan van het eerder opgestelde TVA nummer 0000-2-2-011/0.

In een later gehouden contact vergadering tussen FEL-TNO en de MBA-1/KL zijn de volgende wijzigingen vastgesteld:

- de draadloze verbinding en het meten van snelvuur zijn komen te vervallen.

Bij het onderzoek maakt het meetsysteem gebruik van opto-electrische detectoren. Voor de eenvoud van het systeem is gekozen voor halfgeleider detectoren. Tijdens het onderzoek is gebleken dat bij een lage hemellichthelderheid de halfgeleider-detectoren een lagere signaal/ruis verhouding hebben dan fotomultipliers zoals gebruikt in de losse fotocleenheden.

Vanwege de hoge kosten is een onderzoek met een nieuw type fotomultiplier niet uitgevoerd. Het lijkt daarom verstandig in de toekomst de gebruiks mogelijkheden van deze multipliers nader te onderzoeken.

1 ALGEMEEN

Het proefmodel "Meetuitrusting Snelheid Projectiel" (MUSP) is een optisch meetsysteem voor het meten van projectielsnelheden en bestaat uit een hardware en een software deel.

Een gedetailleerde beschrijving van de software is opgenomen in de bijlage.

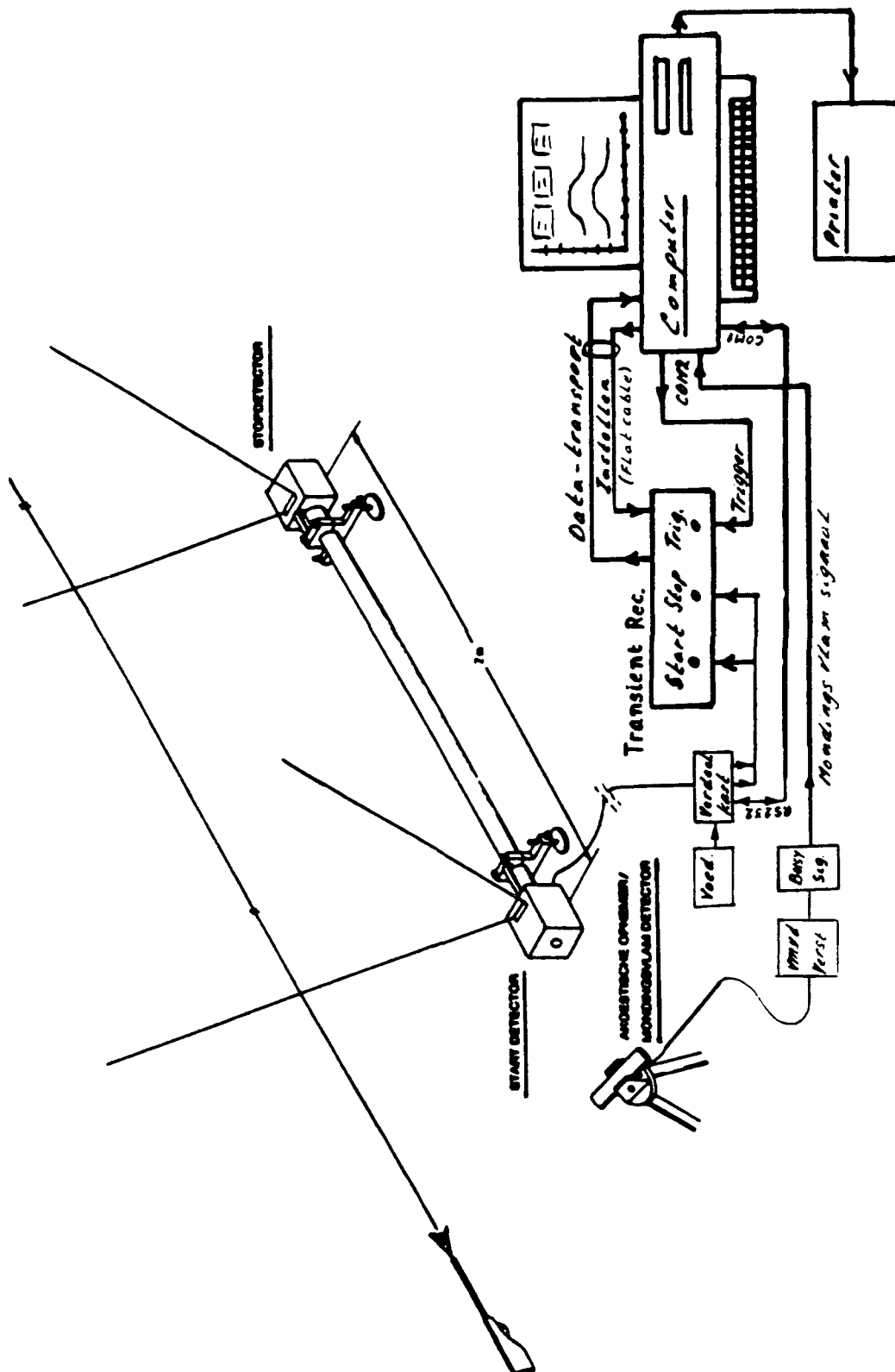
Het meetsysteem is opgebouwd volgens de opstelling in figuur 1 en bestaat uit een start- en een stop- fotoceldetector, een mondingsvlamdetector (mvd), een twee kanaals transient-recorder (R2000 van Rapid System), een AT 286 computer met kleurenscherm en een printer.

In de computer is een interface kaart RI-12 aanwezig voor de verbinding met de transient-recorder. Com1 van de computer wordt gebruikt voor de verbinding met de foto-celdetectoren en Com2 voor de verbinding met de mvd en de trigger-ingang van de transient recorder. De parallel-poort van de computer wordt gebruikt voor de verbinding met de printer.

Passeert een projectiel de waaier-vormige detectievelden dan geven de start- en stop-detectoren een impuls af.

De grootte van de impuls wordt bepaald door de mate waarin het projectiel de spleet, van de fotoceldetector, afdekt en de contrast waarde van het projectiel tegen de achtergrond. Uit ervaring is gebleken dat door allerlei oorzaken de contrast waarde erg laag kan zijn waardoor de signaal/ruis verhouding te klein wordt zodat de tijd tussen de start- en de stop-impuls niet meer bepaald kan worden met behulp van de niveau detectie methode. Met de crosscorrelatie methode, waarbij langs rekenkundige weg (zie onder 2 en bijlage A) de tijd wordt berekend tussen de start- en stop-impuls, zijn betere resultaten te verwachten. Daarvoor moeten de signalen van de start- en stop-detector bemonsterd en gedigitaliseerd worden. De gedigitaliseerde waarden worden bewaard in twee geheugenbuffers van de computer. De crosscorrelatie moet in principe uitgevoerd worden over alle samples in de buffers, wat veelal een lange rekentijd inhoudt. In dit proefmodel wordt de rekentijd kort gehouden door alleen die delen van de buffers in de berekening te betrekken waar zich ongeveer de start- en de stop-impuls bevinden.

Het aantal bemonsteringen (aantal samples), de bemonsterings dichtheid (sample rate), de verzwakkings-factor voor de fotocelversterkers en de vertragingstijd, tussen de mondingsvlam-impuls en de startimpuls, worden automatisch berekend nadat de operator het disposition menu ingevuld en verlaten heeft. Deze berekende waarden worden in het acquisition menu gepresenteerd maar worden nog niet automatisch voor de meting overgenomen, dit moet nog met de hand gebeuren.



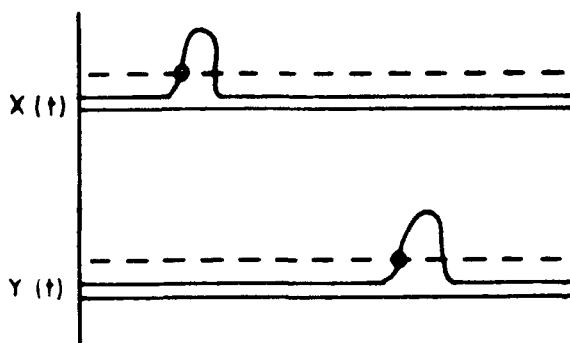
1.1 Figuur 1 Opstelling MUSP

2

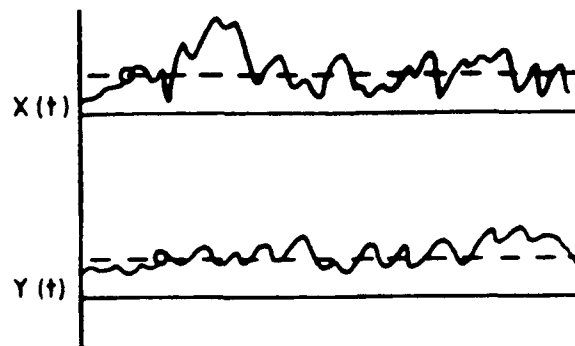
INLEIDING OP DE CORRELATIEMETHODE

Na het afgaan van het schot wordt, na een instelbare vertragingstijd, het start- en het stopsignaal door de transientrecorder bemonsterd. Beide detectorsignalen bevatten een impuls als gevolg van het passeren van het projectiel. Afhankelijk van de afstand tussen beide detectoren zijn deze impulsen ten opzichte van elkaar vertraagd.

Als de signaal/ruis-verhouding voldoende groot is kunnen de posities van beide impulsen worden gevonden door een minimum nivo-drempel in te stellen (zie ook figuur 2a). De vertraging is hierna eenvoudig uit te rekenen. Als de signaal/ruis-verhouding relatief laag is, zal de drempelmethode niet goed meer werken doordat ruispieken eveneens de drempel overschrijden (zie figuur 2b). Gebruik makende van smalle tijdframes, gebaseerd op voorkennis omtrent onder andere de verwachte projectielsnelheid en afstand tussen de detectoren, kan de kans op storende pieken verlaagd worden, er blijft echter een minimum signaal/ruis-verhouding noodzakelijk voor een goede meting.

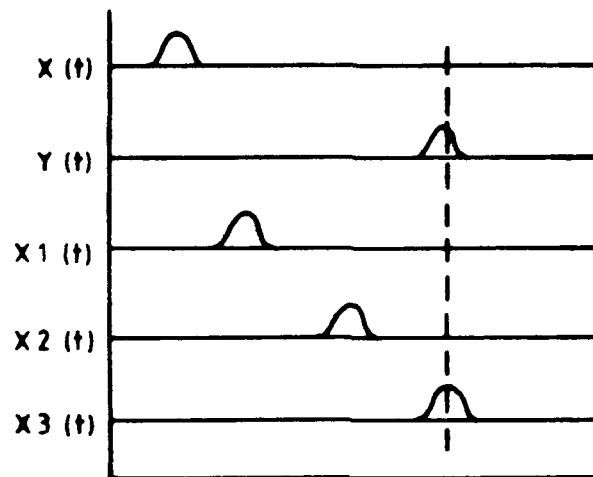


Figuur 2a



Figuur 2b

Ook met behulp van correlatiemethoden kan de vertraging tussen beide impulsen gevonden worden; zelfs bij relatief lage signaal/ruis-verhoudingen. Correleren is een bewerking waarbij, als functie van een onderlinge vertraging, alle monsters van beide signalen met elkaar worden vermenigvuldigd en vervolgens opgeteld. De zogenaamde correlatiecoëfficiënt, bij een zekere onderlinge vertraging, kan hierbij worden beschouwd als een maat voor de gelijkenis van beide onderling vertraagde signalen. Een en ander wordt geïllustreerd in figuur 3.



Figuur 3

In de huidige opzet is gekozen voor een relatief hoge bemonsteringsfrequentie, wat resulteert in grote datafiles van 25K bytes of meer. Dit maakt het correleren van beide signalen praktisch onbruikbaar vanwege de benodigde rekentijd. Er zijn echter mogelijkheden om de correlatie, via een omweg, met behulp van de zogenaamde "Fast Fourier Transform" (FFT) uit te voeren. Op FFT gebaseerde correlatiemethoden worden in het volgende hoofdstuk beschreven.

Aangetoond wordt dat door het impulsvormige karakter van beide signalen, ook de hiervoor genoemde correlatiemethode niet bruikbaar is. Tevens wordt een realiseerbaar alternatief gegeven die wel praktisch bruikbaar is.

2.1 Correlatiemethoden m.b.v. FFT

2.1.1 Principe van correlatie m.b.v. FFT

Nauw verwant met het begrip correlatie is het begrip convolutie. Beide bewerkingen zijn identiek indien één van beide signalen in tijd wordt omgedraaid. Wiskundig kan worden bewezen dat, gebruik makende van de FFT, de convolutie en daarmee de correlatie van twee signalen kan worden berekend.

De FFT is een algoritme waarmee relatief snel de frequentie-inhoud van een signaal wordt berekend. De inverse transformatie (IFFT) berekent hier uit dan weer het tijdsignaal.

Stel nu dat er twee tijdsignalen zijn gedefinieerd $x(t)$ en $y(t)$, en beide signalen zijn bemonsterd en in de computer opgeslagen : $x[n]$ en $y[n]$. De correlatiefunctie $c[m]$ kan dan als volgt gevonden worden.

- 1 Een van beide signalen, bijvoorbeeld $y[n]$, moet in tijd omgedraaid worden; dus $y[n] \Rightarrow y[N-n]$ (met N het totale aantal monsters).
- 2 Zowel van $x[n]$ als van $y[N-n]$ moet de FFT bepaald worden. Het resultaat is $X[k]$ en $Y[k]$ (over het algemeen worden hoofdletters gebruikt om de FFT-getransformeerde functie aan te duiden).
- 3 $X[k]$ en $Y[k]$ worden nu met elkaar vermenigvuldigd; het resultaat is $C[k]$.
- 4 Na terugtransformatie (IFFT) ontstaat uit $C[k]$ de tijdsfunctie $c[N-m]$.
- 5 $c[m]$ kan gevonden worden door $c[N-m]$ in tijd om te draaien.

Aangezien de correlatie een functie is van een vertraging, is voor de correlatiefunctie $c[m]$ bewust een andere index (m) gekozen dan voor de tijdsignalen $x[n]$ en $y[n]$.

$c[m]$ geeft de correlatie van $x[n]$ en $y[n]$ als functie van een vertraging m . Dit betekent dat $c[m]$ maximaal is als m gelijk is aan de vluchttijd van het projectiel tussen de twee sensoren (vergelijk ook figuur 3). Het vinden van de vluchttijd komt dan dus overeen met het vinden van het maximum in de correlatiefunctie.

2.1.2 Signaal/ruis-verhouding

De signaal/ruis-verhouding (SNR) is gedefinieerd als de verhouding van de energie van het signaal tot de energie van de ruis. Hierbij is de energie van de ruis afhankelijk van de beschouwde bandbreedte, welke wordt bepaald door het signaal. Het is dus van belang bij signaalbewerkingen om vooraf te weten wat de bandbreedte van het signaal is. Zo is het mogelijk dat een signaal, dat "verdronken" is in breedbandige ruis, na geschikte filtering weer voldoende wordt hersteld.

In de hierna volgende paragrafen zal de signaal/ruis-verhouding zijn gedefinieerd binnen een vaste bandbreedte van 20 KHz.

2.1.3 Correlatie van de volledige tijdsignalen

Gestreefd is om door middel van correlatietechnieken bij een SNR van 1 (de ruis is dus even sterk als het signaal) de vluchttijd van het projectiel te bepalen. Het is echter nog allerminst zeker of dit getal correct is.

Het probleem bij het correleren van de volledige tijdsignalen is dat de bijdrage van de vermenigvuldiging van de twee pulsen tot de totale correlatiesom erg gering is. Zeker bij een

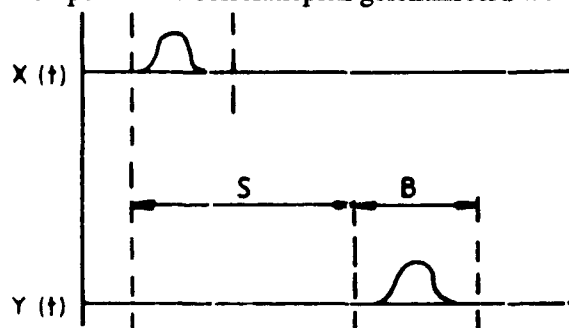
SNR van 1 bleek de genoemde bijdrage te gering te zijn om het maximum in de correlatiefunctie te vinden. Geconcludeerd kan worden dat correlatie van de complete tijdsignalen niet afdoende is.

2.1.4 Correlatie van twee deelsignalen

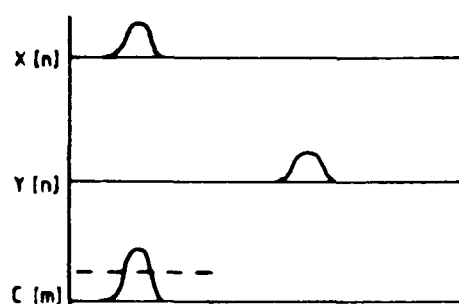
Het probleem bij voorgaande correlatiemethode is dat de relatieve bijdrage aan de correlatiesom van de vermenigvuldiging van beide pulsen te gering is. De relatieve bijdrage is omgekeerd evenredig met de lengte van de signalen bij een gelijkblijvende pulsbreedte. De correlatiemethode kan dan ook sterk worden verbeterd door in plaats van de volledige signalen twee deelsignalen te correleren.

Figuur 4 illustreert deze methode. Uit beide volledige tijdsignalen worden twee deelsignalen betrokken door het plaatsen van twee tijdframes. De breedte B en de onderlinge afstand S van beide tijdframes worden bepaald door de verwachte projektielsnelheid, de afstand tussen de detectoren en de lengte van het projectiel. De absolute positie T van het eerste tijdframe wordt ondermeer bepaald door de projektielsnelheid en de afstand van de vuurmond tot de startdetector. Naarmate de gegevens vooraf nauwkeuriger bekend zijn, kan de breedte van beide tijdframes afnemen.

Beide deelsignalen, zoals getoond in figuur 5, worden nu gecorreleerd. Door het plaatsen van een drempel kan de correlatiepiek gelokaliseerd worden.



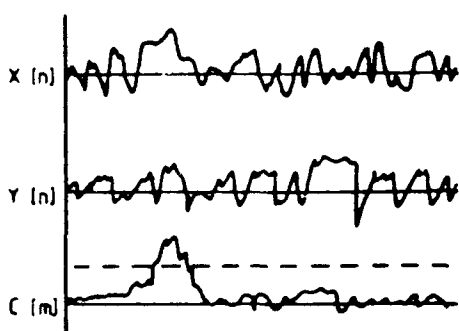
Figuur 4



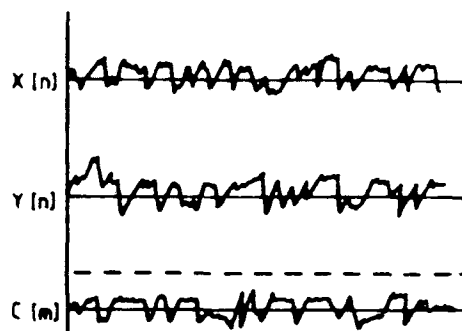
Figuur 5

Aangezien de vluchttijd niet exact bekend is zal ook de positie van de eerste impuls niet exact bekend zijn. Dit heeft tot gevolg dat de correlatie meerdere malen moet worden uitgevoerd, waarbij de tijdframes telkens een volle breedte naar rechts worden verschoven.

Om de correlatiemethode te controleren is aan het signaal in figuur 4 ruis toegevoegd, dusdanig dat de SNR ongeveer 1 is. Merk op dat beide pulsen niet meer zijn te onderscheiden. Figuur 6 toont het resultaat van de correlatie indien in beide tijdframes een impuls voorkomt. Duidelijk te zien is dat de correlatiefunctie een piek bevat. Figuur 7 toont het resultaat indien geen impuls voorkomt in beide tijdframes (tijdframes een volle breedte naar rechts verschoven). De correlatiefunctie bevat nu geen piek.



Figuur 6



Figuur 7

2.1.5 Vereenvoudigingen

De resolutie waarmee de correlatiepiek kan worden gedetecteerd, en daarmee de resolutie in de te meten vluchttijd, is afhankelijk van de bemonsteringsfrequentie. Des te hoger deze is des te beter de resolutie in te meten vluchttijd; echter, des te langer ook de rekentijden worden. Gebleken is dat de bemonsteringsfrequentie aanzienlijk kan worden gereduceerd zonder dat de kwaliteit van de correlatie verminderd. Wat dan wel afneemt is de resolutie.

Overwogen kan worden om met lage resolutie, maar met hogere rekensnelheid, de twee juiste tijdframes te zoeken waarbij de correlatiepiek optreedt, en vervolgens met hogere resolutie de exacte positie van de piek te zoeken. Theoretisch is het mogelijk om de exacte locatie van de piek te interpoleren uit een correlatiefunctie met lage resolutie; praktisch zal dit alleen goed werken als beide tijdframes relatief breed zijn. Onderzocht moet nog worden hoe breed de tijdframes dan dienen te zijn.

3 SYSTEEMBESCHRIJVING VAN DE MUSP

Er is uitgegaan van digitale bewerking van de start- en stopsignalen.

De start- en stopdetector zijn voor het optische deel gelijk aan de detectoren die in gebruik zijn in het snelheidsmeetsysteem KKW FD06 die beschreven zijn in het rapport "FEL 1989-64".

Beide detectoren zijn d.m.v. een 10 aderige kabel met elkaar verbonden. (zie blokschema systeem).

De startdetector bevat de digitale besturing voor de beide detectoren.

Via een 10-aderige kabel wordt de startdetector met de verdeelkast verbonden.

Over deze kabel worden voeding, de besturingssignalen en de verduisteringssignalen getransporteerd. De besturingsopdrachten worden verzonden over een RS232 verbinding.

Vanuit de verdeelkast gaan deze signalen naar resp. de digitale signaalrecorder, de computer en de voeding.

Met de mondingsvlamdetector wordt het moment van het afgaan van een schot aan de computer kenbaar gemaakt.

De start- en stopsignalen komen in analoge vorm op de digitale signaalrecorder beschikbaar.

Deze zet de analoge signalen om in een digitale vorm en slaat deze waarden op in een geheugen.

Wanneer de start- en stopsignalen op commando van het programma naar de computer gehaald zijn, wordt m.b.v. 'kruiscorrelatie' de snelheid van het te bemeten projectiel bepaald en kan het resultaat evt. aan een bestand worden toegevoegd.

Verder is het mogelijk om de start- en stopsignalen op het computerscherm grafisch zichtbaar te maken.

De voeding kan eenvoudig gehouden worden en moet zowel een positieve als een negatieve spanning kunnen leveren van 20 V, en een belasting kunnen hebben van 1 A.

3.1 Beschrijving van de startdetector

In het blok 'fotocelverst.' is een fotocelarray opgenomen met 20 afzonderlijke fotodioden.

Elke fotodiode wordt gevolgd door een A-V omzetter (= stroom - spanningsomzetter).

De uitgangen van de 20 A-V omzetters worden bij elkaar opgeteld en aan de regelversterker aangeboden.

De regelversterker maakt de signaal amplitude onafhankelijk van de achtergrondverlichting.

De regelversterker bevat tevens een instelbare verzwakker om ervoor te zorgen dat de signaalamplitude aan de uitgang onder alle omstandigheden dezelfde orde van grootte heeft.

Dit wordt vanuit de software ingesteld.

De kabeldriver maakt de verduisteringssignalen geschikt voor vervoer over een 100 m lange kabel naar de verdeelkast.

In de startdetector is een digitaal deel opgenomen, waardoor het mogelijk is om vanuit de computer de signaalverzwakking voor beide detectoren in te stellen.

Voorts kan de waarde van de achtergrondverlichting en laatst ingestelde verzwakkingsstand worden uitgelezen.

Dit gebeurt in het blok 'besturing'.

3.2 Beschrijving van de stopdetector

De stopdetector is voor wat betreft het analoge deel geheel gelijk aan de startdetector.

De besturingsignalen worden via de kabel verkregen van het besturingsgedeelte in de startdetector.

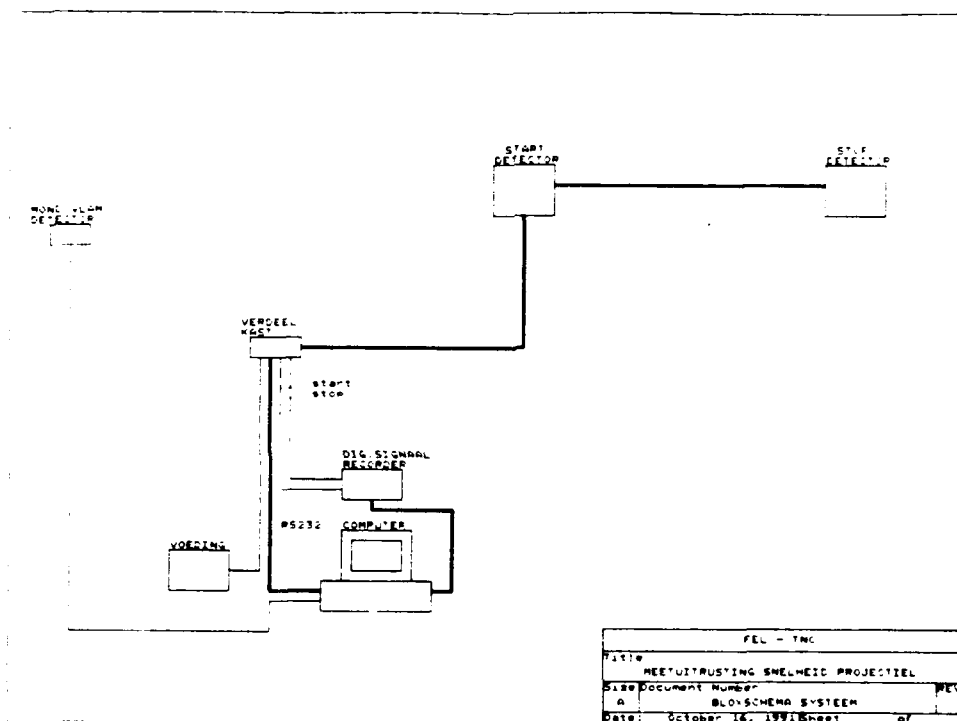
De voedingskaarten zijn in beide detectoren geheel identiek.

3.3 Specificaties van het systeem

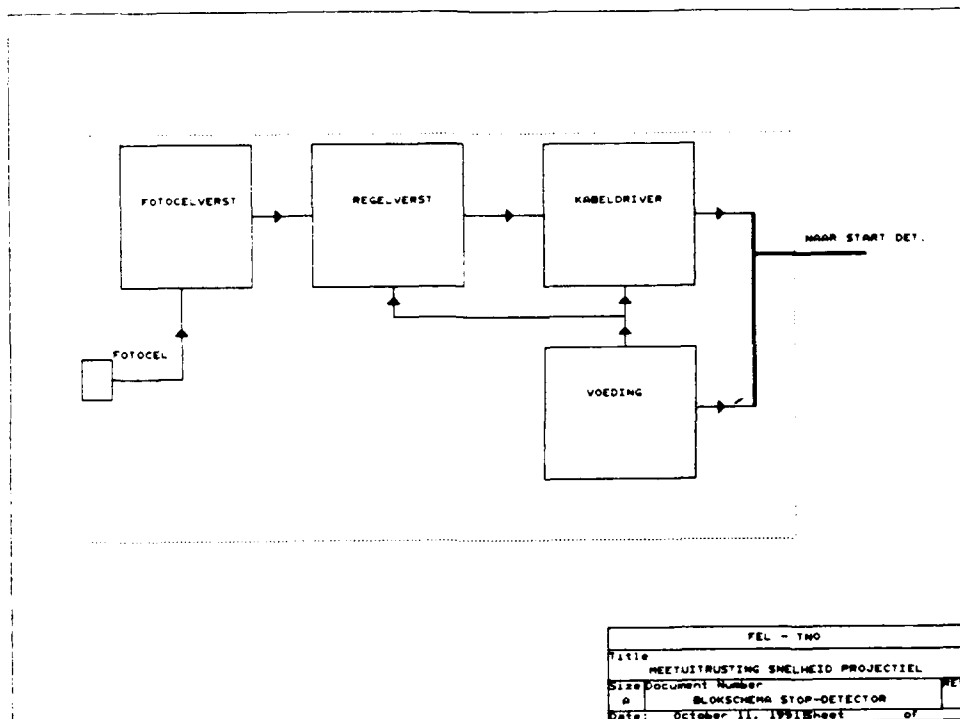
H / K (hoogte/kaliber verhouding)	: minimaal 1000
Basislengte	: 2000 mm
Nauwkeurigheid	: 0.1 %
Openingshoek	: 28°
Spleetlengte op 1 meter	: 50 cm
Achtergrondverlichting	: minimaal 500 Lux
Alleen geschikt voor enkel schot metingen.	

Deze specificaties gelden bij een contrastwaarde van 100%.

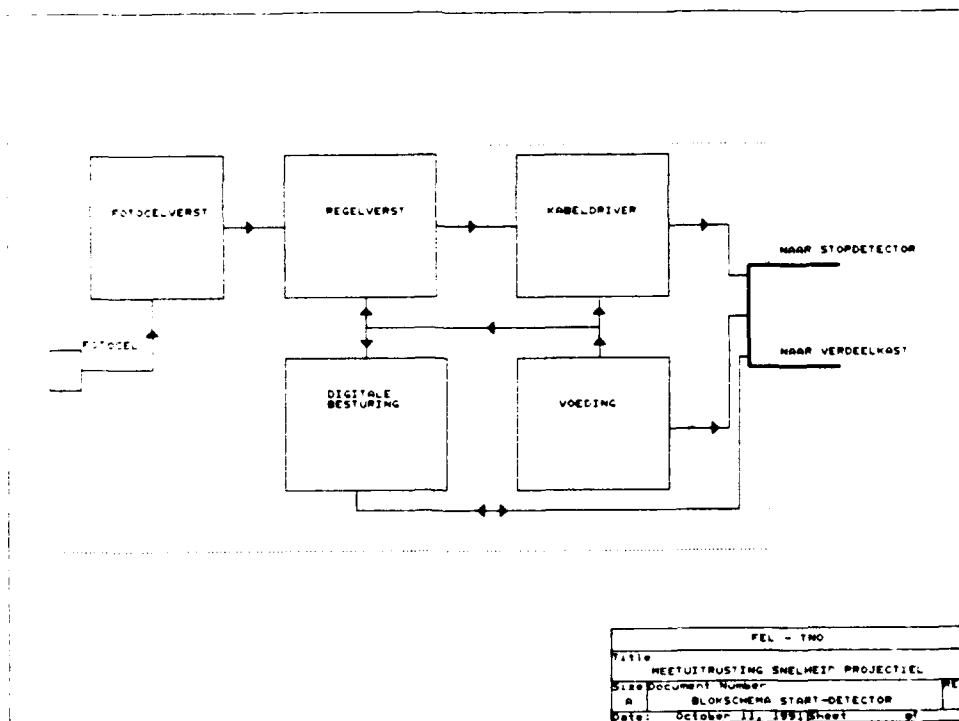
De meetbasis is zodanig geconstrueerd dat deze onder elke hoek tussen 0 en 75 graden kan worden opgesteld.



3.4 Fig. 8 Blokschema van het systeem



3.5 Fig. 9 Blokschema van de startdetector



3.6 Fig. 10 Blokschema van de stopdetector

4 RESULTATEN BEPROEVINGEN

4.1 Verslag schietproef op ASK schietkamp te Oldenbroek ('t Harde) bij de DMKL/AB (lokatie Den Haag).

Het FEL/TNO mocht bij deze proef het MUSP systeem mee laten meten, om te bezien of het systeem goed functioneert.

Datum: 27 juni 1991.

Weer: Het heeft nagenoeg de gehele dag geregend.

Note: De berekende waarden van de MUSP zijn V0 waarden met een ΔV van 0.048.

De afstand wapen tot midden MUSP balk was 46 meter.

Tijdens de schietproef is de radar omgevallen, maar niet bekend is bij welk schot dat precies gebeurde.

Dit kan voor wat de radar betreft invloed hebben op de V0, als de radar niet in dezelfde positie is teruggezet.

De inslagplaats van het projectiel in de kuil is tijdens de proef gewijzigd, omdat er projectielen uit de kuil terugkaatsten. Dit houdt in, dat als het schietpunt omhoog is gelegd, de basislengte over de balk groter geworden is en de V0 lager wordt.

Niet bekend is bij welk schotnummer dit is gebeurd.

De data van de MUSP is opgeslagen op floppy disk, zodat deze te allen tijde nog kan worden gepresenteerd.

Het MUSP systeem was bij schot 1 en 2 nog niet gereed voor meten.

De basislengte van het MUSP systeem was nog niet gemeten. Tijdens de beproeving is er met de berekeningswijze vanuit gegaan, dat de basislengte 2000,0 mm. is.

Na de beproeving bleek de basislengte, op 2 meter afstand van de detectoren, 1997,5 mm. te zijn.

De MUSP V0 waarden zijn nu herberekend met een vermindering in V0 van 0,1%.

schot nr.	radar <m/s>	Losse Koppen		Herberekende waarden
		Vk. <m/s>	Ak. <m/s>	MUSP
1	567.7	586.6	g.m.	g.m.
2	566.1	g.m.	g.m.	g.m.
3	566.2	572.1	564.3	568.83
4	567.9	565.3	560.6	565.63
5	567.9	565.8	560.6	569.52
6	568.0	566.3	566.3	576.32
7	567.5	566.7	566.7	583.01
8	566.7	g.m.	g.m.	569.82
9	567.7	584.5	g.m.	574.02
10	568.3	g.m.	g.m.	572.73
11	567.4	566.3	567.7	571.42
12	567.7	567.1	g.m.	577.02
13	568.5	568.7	578.1	581.31
14	566.3	563.8	566.7	567.53
15	566.2	564.3	566.5	567.23
16	565.1	564.0	565.8	566.63
17	566.4	565.3	566.8	567.93
18	566.5	565.6	566.2	567.33
19	566.4	565.6	566.1	567.23
20	566.2	564.9	565.8	567.23
21	567.4	566.4	567.1	568.52
22	566.3	565.4	566.1	567.23
23	565.7	565.1	565.6	566.93
24	566.4	565.9	566.4	567.93
25	565.5	564.4	565.0	566.63
26	569.3	568.1	568.9	570.13
27	565.9	565.1	565.6	566.93
28	566.8	566.0	566.7	567.93
29	565.8	564.7	565.5	566.93
30	567.2	566.2	566.8	568.23
31	564.6	564.0	564.5	565.93
32	565.9	564.9	g.m.	566.93
33	565.5	565.0	565.6	566.93
34	565.2	564.0	g.m.	565.93
35	564.4	563.3	563.8	565.03
36	565.5	564.3	565.0	564.44
37	565.1	562.1	564.6	564.14

g.m.= geen meting

n.k.= niet klaar voor meting

schot nr.	radar <m/s>	Losse Koppen		Herberekenende waarden MUSP
		Vk.	Ak.	
		<m/s>	<m/s>	
38	564.5	561.8	564.1	563.44
39	564.6	562.5	564.1	563.14
40	564.1	561.2	563.5	n.k.
41	565.9	563.8	565.3	564.73
42	564.9	562.3	564.2	563.44
43	565.6	563.4	g.m.	564.14
44	563.3	561.4	562.8	562.14
45	566.2	565.0	565.8	565.03
46	563.1	562.1	562.7	561.84
47	564.5	563.4	564.1	563.44
48	564.9	563.9	564.5	563.74
49	565.4	564.1	564.9	564.14
50	564.8	563.8	564.4	563.74
51	564.3	563.4	563.8	563.44
52	566.6	565.6	566.2	565.33
53	564.9	563.6	564.6	563.74
54	566.0	564.8	565.6	564.73
55	565.6	564.3	565.2	564.44
56	564.7	563.6	564.3	563.74
57	564.5	563.3	564.1	563.14
58	565.0	564.2	564.5	563.74

g.m.= geen meting

n.k.= niet klaar voor meting

4.2 Verslag schietproef te Petten op 26 september 1991

Deze proef was in eerste instantie bedoeld voor het uittesten van het PROFOT camerasysteem, maar op verzoek van de DMKL/AB is het MUSP systeem ook ingezet. De toegepaste computer, voor het bedienen van het meetsysteem en het verwerken van de meetgegevens, was afkomstig van de DMKL/AB.

Het weer was heel erg slecht, het regende constant.

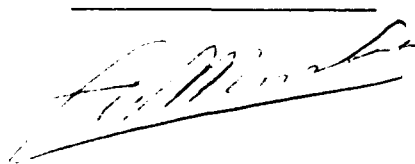
Bij de MUSP detectoren waren de afdichtingsringen niet aangebracht, wat tot gevolg had dat er water in de behuizing van de detectoren kwam te staan, waardoor op de lenzen vocht afzetting plaats vond.

Er zijn deze schietproef 10 schoten afgegeven.

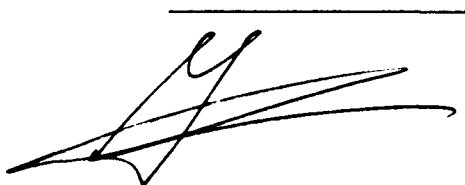
schot nr.	Radar <m/s>	Musp <m/s>	
1	474.9	442.9	(VO MUSP niet betrouwbaar)
2	g.m.	474.1	
3	473.6	474.8	(VO Radar niet betrouwbaar)
4	478.2	474.4	
5	472.0	g.m.	
6	472.4	473.5	
7	472.7	472.1	
8	471.9	473.1	
9	474.3	476.1	
10	474.2	471.4	

5 CONCLUSIES

- 1 Het optische projectielsnelheidsmeetsysteem MUSP is in staat projectielen op een overschiethoogte van 1000 kalibers en een contrastwaarde van 100% nog te detecteren. Dit is bereikt door optimalisatie van de signaal/ruis-verhouding van het detectie-gedeelte en door bij de detectie correlatietechnieken toe te passen.
- 2 De geregistreerde vluchttijden zijn door de toepassing van correlatietechniek onafhankelijk van kleine verschillen, die in de waargenomen start- en stopsignalen kunnen optreden. Bij de tot nu toe gebruikte methode gaven deze verschillen grote fouten in de geregistreerde vluchttijden.
- 3 Bij een vergelijking van de meetresultaten van de radar DR810 met de MUSP hebben beide systemen eenzelfde nauwkeurigheid. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de MUSP door aanloop moeilijkheden tijdens de metingen niet altijd goed heeft gefunctioneerd. Uitgaande van de schietproef van 27 juni 1991, schoten 14 t/m 34 geeft de DR810 een standaarddeviatie van 0,974 en de MUSP 0,920. Het gemiddelde voor de DR810 is 566,2 en voor de MUSP 567,3.



ir. A.W.M. van der Voort
(projectleider)



J. van der Haven
(auteur)



N. de Jager
(auteur)



H.C.A. Romijn
(auteur)

BESCHRIJVING VAN DE SOFTWARE

De software bestaat uit een groot aantal routines geschreven in de programmeertaal C. Deze routines besturen het totale systeem, zodat uiteindelijk van elk schot de projectielsnelheid wordt berekend en op het blad wordt afgedrukt.

Wanneer het programma 'MUSP' gestart wordt dan verzorgen bepaalde routines de controle en de initialisatie van het systeem, het presenteren van een installatie bericht en daarna de presentatie van het hoofdmenu. Er wordt gecontroleerd of de video adapter en het beeldscherm kunnen werken in de videomode Erescolor (640 * 350 pixels). Com1 en Com2 worden ingesteld op een baudsnelheid van respectievelijk 2400 en 9600 baud.

Er wordt 2 * 64k geheugen gereserveerd voor de data van de transient recorder.

Vanuit het hoofdmenu kunnen 13 routines worden aangeroepen die het volgende verzorgen:

- 2 menu's voor het invoeren van parameters.
- een opdracht voor het uitvoeren van de meting.
- een menu met opdrachten voor het verwerken van de meetresultaten.
- het uitvoeren van twee testen.
- de presentatie van de acquisitie en transfer parameters voor de transient recorder.
- het opvragen van de status van de fotoceldetectoren en de transient recorder.
- de terugkeer naar DOS.

In het volgende vindt de beschrijving plaats van deze 13 routines.

A.1 Disposition Menu (optie 1)

Wordt in het hoofdmenu gekozen voor Disposition Menu dan verzorgt de routine Fetch_Opst_Params een menu waarin de parameters van de meetopstelling kunnen worden ingevoerd. Het menu bestaat uit 2 gedeeltes, druktoets F1 activeert routine Cur_func welke het overschakelen verzorgt van invoer in het bovenste deel of in het onderste deel van het menu. Druktoets F2 activeert routine Cur_func voor het afdrukken van het menu op het blad en het menu met de parameters toevoegt aan de file Tabel.dat op de schijf in drive A.

Bij het verlaten van dit menu worden de volgende routines aangeroepen:

- Cal_Delayt voor het berekenen van de vluchttijd tussen het wapen en de startdetector.

- Cal_Verzwk voor het berekenen van de verzwakkings-factor X voor de fotoceldetectoren, volgens de formule $1.75 \cdot X = (30 \cdot \text{caliber}) / \text{overschiethoogte}$.
- Cal_Sample voor het berekenen van:
 - a de max. sample rate waarbij max. 1000 samples alleen voor de signaallengte van het projectiel zijn toegestaan.
 - b de som van het aantal samples (bij de berekende sample rate) over 4% van de vluchttijd wapen/start-detector en over de vluchttijd start- stop-detector.

A.2 Acquisition Menu (optie 2)

Wordt in het hoofdmenu gekozen voor het Acquisition Menu, dan verzorgt routine Fetch_Acqu_Params een menu waarin de verzwakkingsfactor voor de fotocel-detectoren, parameters voor de transient recorder, de vertragingstijd Wapen/Startdetector, het serie en schot-nummer moeten worden ingevoerd. De onder optie 1 berekende waarden staan in het menu, naar wens kunnen deze parameters worden overgenomen.

A.3 MUSP Measurement (optie 3)

Wordt in het hoofdmenu gekozen voor Musp Measurement dan verzorgt de routine Musp_Measure dmv een aantal andere routines de gehele meting tot en met het overzetten van de data van de transient recorder naar de computer en eindigt met de presentatie van het verwerkingsmenu (zie optie 4).

De volgende routines worden aangeroepen voor een meting:

- dmv routine Trs_verz_musp wordt de verzwakkings factor naar de fotoceldetectoren gestuurd.
- dmv routine Hardware_Set_Up wordt de transient recorder geïnitieerd.
- start dmv routine GO de acquisitie van data door de transient recorder.
- ter controle wordt dmv routine Get_verzlux de verzwakkingsfactor en de luxwaarde van de fotoceldetectoren gevraagd en op het beeldscherm gezet.
- dmv routine Delay_mvd_imp wordt gewacht op een mondingsvlamimpuls. Wanneer deze impuls via Com2 gedetecteerd wordt, dan zal na een ingestelde delaytijd een triggerimpuls via Com2 aan de transient recorder worden gegeven.
- via Com1 wordt het karakter ' ' ' naar de fotoceldetectoren gezonden waardoor de klokimpuls in de detectoren gedurende de meting geblokkeerd wordt.

- test dmv routine Status_Rap of de transient recorder getriggerd en de acquisitie compleet is. Is dat het geval dan wordt dmv de routine XFER de data van de transient recorder in het geheugen van de AT gezet. De gedigitaliseerde waarden van het signaal van de startdetector wordt in buffer Ptrbufa en van de stopdetector in buffer Ptrbufb gezet.
- dmv de routine Verw_Prog wordt een menu gepresenteerd vanwaar uit een verwerkingsprogramma kan worden geselecteerd; zie onder Execution Menu (optie 4).

A.4 Execution Menu (optie 4)

Wordt in het hoofdmenu gekozen voor Execution Menu dan verzorgt de routine Verw_Prog een menu waaruit, door het indrukken van een functietoets, een van de volgende opdrachten gekozen kan worden:

- F1 - Store data/Calculate Velocity
- F2 - Print Results
- F3 - Display Signals
- F4 - Acquisition Menu
- F5 - Read data from drive A
- F6 - Print Tabel Resultaten

Afhankelijk welke functie-toets is ingedrukt zal routine Bepaal_welk gaan bepalen welke opdracht uitgevoerd gaat worden.

A.4.1 Store data/Calculate Velocity (F1)

De opdracht Store data/Calculate Velocity zal altijd, dmv routine Write_Disk, data afkomstig van de transient recorder op de schijf in drive A willen bewaren. Per schot worden er 4 binaire files bewaard. D.m.v. routine Write_filename wordt een filenaam gemaakt welke begint met de letter M gevolgd door respectievelijk het serie-, het schotnummer, de letter A en de extensie 'DAT'.

De datafile van de startdetector heeft in de filenaam de letter A. De datafile van de stop-detector heeft in de filenaam de letter B. De datafile met de parameters van het Acquisitie menu heeft in de filenaam de letter C. De datafile met de parameters van het Opstel menu heeft in de filenaam de letter D. De lengte van de files van de start- en stopdetector wordt bepaald door het aantal bytes dat per kanaal van de transient recorder in het geheugen van de AT is gezet.

Voor het berekenen van de projectielsnelheid moet men de tijd weten tussen de start- en de stop-impuls, daar de sample rate bekend is, moet het aantal samples tussen beide impulsen berekend

worden. Voor het berekenen van het aantal samples wordt de methode van de kruis-correlatie toegepast, dat wil zeggen het start- en het stop-signaal worden stapsgewijs over elkaar heen geschoven. Bij iedere stap wordt de som berekend van de producten van de bemonsteringen van start- en stop-signaal. De som waarden zal een maximum vertonen wanneer de start- en stop-impuls elkaar precies bedekken.

Een voorbeeld zal de methode verduidelijken:

Het startsignaal X bestaat uit n samples en het stopsignaal Y bestaat uit m samples.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Som1} & = & X1*Y1 + X2*Y2 + \text{-----} + Xn*Ym; \\
 \text{Som2} & = & X1*Y2 + X2*Y3 + \text{-----} + Xn*Ym+1; \\
 & & | \qquad | \qquad | \qquad | \qquad | \\
 & & | \qquad | \qquad | \qquad | \qquad | \\
 \text{Somn} & = & X1*Yn + X2*Yn+1 + \text{-----} + Xn*Ym+n;
 \end{array}$$

Voor het bepalen van het aantal samples tussen de start- en stop-impuls worden de routines Search_Imp, Minim_Sig, Zoek_Lsp en Zoek_End_Stop aangeroepen.

Dmv routine Minim_Sig wordt de minimum waarde in buffer Ptrbufa gezocht en vervolgens worden alle waarden in dat buffer met deze minimum waarde verminderd, voor buffer Ptrbufb wordt hetzelfde gedaan. Het doel hiervan is de waarde van de som van de producten beperkt te houden.

D.m.v. routine Zoek_Lsp wordt in het buffer voor het stop-signaal, Ptrbufb, naar een negatief signaal gezocht wat er op kan duiden dat er met lichtspoor is geschoten. Wanneer dat het geval is dan worden de waarden van het start en stopsignaal respectievelijk in de buffers Ptrbufa en Ptrbufb geïnverteerd.

Om het aantal berekeningen en daardoor de rekentijd te beperken wordt dmv routine Zoek_End_Stop in buffer Ptrbufb het samplenummer gezocht dat behoort bij het einde van de stopimpuls (Eind_b). Tot aan dit samplenummer wordt dmv routine Search_Imp bepaald tussen welke samplenummers in buffer Ptrbufa de startimpuls en in buffer Ptrbufb de stopimpuls zich bevindt. Verder voert deze routine bovengenoemde berekeningen uit en wordt uiteindelijk het aantal samples berekend tussen de start- en de stop-impuls, dit getal komt te staan in Numb_samp.

De tussen resultaten van de routines Minim_Sig, Zoek_Lsp, Zoek_End_Stop en Search_Imp komen op het beeldscherm te staan.

Ook wordt een melding gegeven indien het aantal samples van de stopimpuls groter is dan 1000, in dat geval wordt het verschil berekend tussen samplenummer voorflank stopimpuls en samplenummer voorflank startimpuls.

Dmv routine Cal_Velo wordt de tijd berekend tussen de start- en de stop-impuls aan de hand van het berekende aantal samples en de sample rate. In het geval van een test dan wordt deze tijd op het beeld scherm gezet, betreft het een snelheidsmeting dan wordt de projectielsnelheid berekend en op het scherm gezet, heeft delta_v een waarde dan wordt de V0 berekend.

A.4.2 Print Results (F2)

Opdracht Print Results zal dmv routine Print_Measure de berekende projectielsnelheid op het blad afdrukken. Verder worden de meetresultaten d.m.v. routine Write_Tab toegevoegd aan de file TABEL.DAT op schijf in drive A.

A.4.3 Display Signals (F3)

Opdracht Display Signals zal dmv routine Disp_ProgrA de signalen van de start- en stop-detector in een plot op het scherm zetten. Wordt deze opdracht gegeven direct na de berekening dan staat de start- en stop-impuls in eenzelfde plot op het beeldscherm. Routine Disp_next geeft uitvoer aan het indrukken van de cursortoetsen <-, -> en de functie toetsen F1, F2, F3, F4, F5 en F6. Functietoets F1 heeft een wisselfunctie tussen het verplaatsen van de cursorlijn of het verplaatsen van de signalen, rechtsboven in het beeldscherm staat vermeld SIGNAAL of CURSOR.

Functietoets F2 heeft een wisselfunctie tussen langzaam en snel, rechtsboven in het beeldscherm staat vermeld 1:1 of 1:10. Wil men de signalen gedetailleerd bekijken dan moet er rechtsboven in het beeldscherm staan SIGNAAL en 1:1. Wil men de signalen globaal bekijken dan moet er in het beeldscherm staan 1:10, een sample op het scherm heeft dan de waarden van het gemiddelde van 10 samples. Een ander deel van de signalen kan bekeken worden d.m.v. de druktoetsen <- ->.

Wanneer men de cursorlijn in het beeldscherm d.m.v. de druktoetsen <- -> langzaam wil verplaatsen dan moet er rechtsboven in het beeldscherm staan CURSOR en 1:1, de cursorlijn wordt met sprongen, 10 samples, verplaatst wanneer er in het beeldscherm 1:10 staat.

Functietoets F3 wordt gebruikt om het samplenummer van het startsignaal, die door de cursor op het beeldscherm wordt aangewezen, te bewaren.

Functietoets F4 wordt gebruikt om het samplenummer van het stopsignaal, die door de cursor op het beeldscherm wordt aangewezen, te bewaren.

Functietoets F5 wordt gebruikt om d.m.v. het verschil tussen het aantal samples, aangegeven d.m.v. functietoets F3 en F4, de projectielsnelheid te berekenen.

D.m.v. functietoets F6 wordt een afdruk gemaakt van het beeldscherm op de printer.

A.4.4 Acquisition Menu (F4)

Opdracht Acquisition Menu zal dmv routine Fetch_Acqu_Params het Acquisition menu op het scherm zetten, zie hiervoor onder hoofdmenu optie 2.

A.4.5 Read data from drive A (F5)

Opdracht Read data from drive A zal dmv routine Read_Disk vier binaire files van drive A in het geheugen van de computer schrijven. De file van het startsignaal naar buffer Ptrbufa, de file van het stopsignaal naar buffer Ptrbufb, de file voor acquisitie parameters en de file voor de opstel parameters. In het Acquisition Menu moet eerst het gewenste serie- en schotnummer worden ingevuld. Met de data van de files kan hetzelfde gedaan worden als met de data van de transcient recorder, alleen het terugschrijven van data naar de drive is niet mogelijk.

A.4.6 Print Tabel Resultaten

Opdracht Print Tabel Resultaten zal d.m.v. routine Print_Tab de file Tabel.dat van de schijf in drive A lezen en de informatie op de printer afdrukken. File Tabel.dat bevat de verzamelde resultaten van de schoten en de gegevens over de meetopstelling.

A.5 Test Musp (optie 5)

Bij de Musp Test wordt het totale systeem automatisch getest. Door het karakter '#' naar de fotodetectoren te sturen wordt door de start-en stop-detector een impuls afgegeven met een exacte tijd-verschil tussen de impulsen van 3 msec. Deze tijd wordt na de verwerking van de signalen en de berekening op het beeldscherm gezet. Veel van de routines die gebruikt worden bij MUSP Measurement worden ook gebruikt bij deze test. De routines die extra gebruikt worden zijn:

- Save_param voor het bewaren van de parameters van een projectielsnelheidsmeting.
- Set_param_tmusp voor het klaar zetten van de parameters van de test.
- Trig_R2000 voor het triggersignaal van de R2000.
- Disp_ProgrA voor een plot, op het beeldscherm, van de signalen.
- Reset_param_test voor het terug zetten van de parameters van een projectielsnelheidsmeting.

A.6 Test Delay_time (optie 6)

D.m.v. de Test Delay_time wordt de werkelijke tijd gemeten tussen twee impulsen, die d.m.v. routine delay 5msec na elkaar geleverd worden. Daarvoor moet van de transient-recorder de ingang van kanaal A verbonden worden met de trigger ingang. De berekende tijd wordt op het beeldscherm gezet en wordt gebruikt om de vertragingstijd tussen wapen en startdetector te corrigeren. Veel van de routines, die gebruikt worden bij MUSP Measurement, worden ook gebruikt bij deze test. De routines die extra gebruikt worden zijn:

- Save_param voor het bewaren van de parameters van de projectielsnelheidsmeting.
- Set_param_tdelay voor het klaar zetten van de parameters van de test.
- Trig_R2000 voor het triggersignaal van de R2000.
- Cal_Time voor het meten van de tijd tussen de voorflank van de eerste impuls en de tweede impuls, deze waarde wordt bewaard in Del_samp.
- Disp_ProgrA voor een plot, op het beeldscherm, van de signalen.
- Reset_param_test voor het terug zetten van de parameters voor een projectielsnelheidsmeting.

A.7 Display Acquisition Parameters (R2000) (optie 7)

D.m.v. routine Disp_Acq_Params worden de parameters op het beeldscherm gezet, die d.m.v. routine Setup naar de R2000 verzonden moeten worden om deze te initieëren, zie Rapid Systems Data Acquisition Software. Door routine Hardware_Set_Up wordt de waarde van Pre_Trig gesplitst in twee delen Pre_B en Pre_O, en de waarde van Post_Trig in de delen Post_B en Post_O.

A.8 Display Data Transfer Parameters (R2000) (optie 8)

D.m.v. routine Disp_Trans_Params worden de parameters op het beeldscherm gezet die nodig zijn voor de routine Xfer om data over te zetten van de R2000 naar het geheugen van de computer, zie Rapid Systems Data Acquisition Software. Door routine New_Scrpos wordt de waarde van Screen_pos gesplitst in twee delen Pos_B en Pos_O.

A.9 Display Status R2000 (optie 9)

D.m.v. routine Disp_Rapid_Status wordt de acquisition status van de R2000 op het beeldscherm gezet. D.m.v. routine GETSTAT wordt het status byte ontvangen, zie Rapid Systems Data

Acquisition Software. Aan het status byte wordt gezien of de R2000 getriggerd en de data acquisition compleet is.

A.10 Display Status MUSP (optie 10)

Routine Disp_Musp_Status controleert, dmv de routine Test_com1 of de verbinding met de fotodetectoren in orde is. Is dat het geval dan wordt de ingestelde verzwakkingsfactor en de luxwaarde, gemeten door de fotoceldetectoren, op het beeldscherm geplaatst.

A.11 Call AUTOCAL R2000 (optie 11)

D.m.v. routine Do_Autocal wordt gevraagd of ingangen van kanaal A en B van de R2000, voor deze test, intern of extern geaard moeten worden. D.m.v. van de routine AUTOCAL wordt de R2000 gecalibreerd en d.m.v. routine Disp_Cal_Status wordt het calibratie type, status en de waarde van kanaal A en B op het beeldscherm gezet.

A.12 Display Install Messages (optie 12)

D.m.v. routine First_Messages wordt een bericht op het beeldscherm gezet welke kabel verbindingen gemaakt moeten worden, om het systeem operationeel te maken, en hoe het systeem opgestart moet worden.

A.13 QUIT (optie 13)

Het MUSP applicatie programma wordt verlaten en de besturing wordt aan DOS terug gegeven.

REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD-NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD91-3972	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER FEL-91-A368
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 20383	5. CONTRACT NUMBER A87KL055	6. REPORT DATE JUNE 1992
7. NUMBER OF PAGES 29 (INCL. 1 APPENDIX, EXCL. RDP & DISTR.LIST)	8. NUMBER OF REFERENCES -	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED FINAL
10. TITLE AND SUBTITLE VOORONDERZOEK MEETUITRUSTING SNELHEID PROJECTIEL (FEASIBILITY STUDY FOR A MEASURING SYSTEM VELOCITY PROJECTILE)		
11. AUTHOR(S) J. VAN DER HAVEN, N. DE JAGER, H.C.A. ROMIJN		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO PHYSICS AND ELECTRONICS LABORATORY, P.O. BOX 96864, 2509 JG THE HAGUE OUDE WAALSDORPERWEG 63, THE HAGUE, THE NETHERLANDS		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) ROYAL NETHERLANDS ARMY V.D. BURCHLAAN 31, 2597 PC THE HAGUE, THE NETHERLANDS		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 POSITIONS) WITHIN THE FRAMEWORK OF PROJECT NO. A87KL055, THE TEST DEPARTMENT OF THE ROYAL NETHERLANDS ARMY COMMISSIONED A FEASIBILITY STUDY INTO A POSSIBLE SET-UP FOR MEASURING THE EXTERNA BALLISTIC SPEED OF LARGE-CALIBER PROJECTILES. THIS STUDY LED TO A CONCEPTUAL DESIGN THAT IS DESCRIBED IN THIS REPORT.		
16. DESCRIPTORS VELOCITY MEASUREMENT PROJECTILES FEASIBILITY STUDIES EXTERIOR BALLISTICS		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) UNCLASSIFIED	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) UNCLASSIFIED	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) UNCLASSIFIED
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT UNLIMITED		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) UNCLASSIFIED